

여러개의 파사드리거를 갖는 고층구조물의 응력과 변위

Forces and Displacements of Highrise Braced Frames with Facade Riggers

정 동 조†

Jung, Dong-Jo

육 민 혜*

Yuk, Min-Hye

(논문접수일 : 2004년 11월 26일 ; 심사종료일 : 2005년 3월 3일)

요 지

파사드리거는 아웃리거 구조시스템에 근거하는 것으로 구조물의 외곽에 설치되는 파사드리거는 구조물의 내부에 수직으로 설치된 가새골조로부터 분리되어 구조물의 외곽에 설치된다. 따라서 이 시스템은 중앙의 코아에 부착되는 아웃리거와는 달리 사재로 인한 내부 동선의 장애가 발생하지 않는 장점이 있다. 리거의 현재에 인접한 슬래브가 파사드리거와 가새골조 사이의 전단력을 전달하며 가새골조와 파사드리거를 지지하는 기둥 사이의 상호작용을 일으킨다.

이 논문에서는 등분포하중과 삼각분포하중, 그리고 구조물 상단에 집중하중이 작용하고 구조물의 외곽에 여러개의 파사드리거가 설치된 가새골조에 대한 근사해석방법을 제시하였으며, 구조모델들을 이용하여 MIDAS프로그램에 의한 결과와 비교하였고 만족할만한 결과를 얻었다.

본 연구에서 제시된 매트릭스 해석방법은 구조물 상단의 수평변위나 가새골조 하단의 전도모멘트와 같은 구조물의 거동에 대한 파사드리거의 영향을 신속하게 평가할 수 있으며 구조물 상단의 변위를 최소화할 수 있는 파사드리거의 최적위치 결정을 위해 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 파사드리거, 고층건물, 전단강성, 수평변위

Abstract

In the conventional outrigger system, the outriggers are located in the planes of the core walls and this system has disadvantage of obstructing flexibility in the interior layout. But the facade riggers in the structure are located in the exterior frames in the direction of the lateral loading. The interaction between the braced frames and facade riggers is through the floor diaphragms adjacent to the chords of the riggers.

This paper presents an approximate analysis technique for preliminary analysis of multiple facade rigger stiffened braced frames in tall buildings subjected to uniformly and triangularly distributed loads as well as a lateral point load at the top of the structure. Comparisons with the results by the program MIDAS for the structural models have shown that this analysis can give reasonably accurate results for highrise braced frames with multiple facade riggers.

The method allows a simple procedure for obtaining the optimum level of the facade riggers in addition to a rapid assessment of the influence of the facade riggers on the performance of the highrise structure such as the reduction in lateral deflection at the top and the overturning moment at the base of the braced frame.

keywords : facade rigger, highrise building, shear stiffness, lateral deflection

1. 서 론

최근 들어 고층건물에 대한 수요가 증가하면서 고층건물의 최적 구조설계에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 고층건

물의 구조설계는 부재의 강도보다는 구조물의 강성에 의해 좌우되므로 횡력에 대한 강성의 확보가 건물의 사용성, 안전성은 물론 구조시스템의 경제성을 결정하게 된다. 따라서 강성이 크고 안정된 구조물을 설계하기 위해서는 초기단계에서

† 책임저자, 정회원 · 전주대학교 공학부 교수
전화: 063-220-2621 ; Fax: 063-220-2621
E-mail: jung2621@jj.ac.kr
* 전주대학교 대학원 건축공학과

• 이 논문에 대한 토론을 2005년 9월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2005년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

합리적이고 효율적인 구조시스템을 선택하는 것이 매우 중요하다. 구조시스템에 대한 지속적인 연구결과 새롭게 개발된 구조시스템 중 하나는 많은 강재를 사용하지 않고서도 수평하중에 의한 고층건물의 횡변위를 줄일 수 있는 혁신적인 기술로 가새골조와 함께 구조물의 외곽에 파사드리거를 설치하는 방법이다.

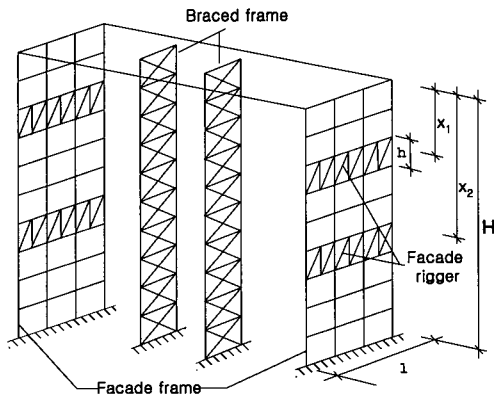


그림 1 파사드리거와 가새골조로 이루어진 구조물

파사드리거는 아웃리거 구조시스템에 근거하는 것으로 구조물의 외곽에 설치되는 파사드리거는 구조물의 내부에 수직으로 설치된 가새골조로부터 분리되어 구조물의 외곽으로 평행이동되어 설치된다. 따라서 이 시스템은 중앙의 코아에 부착되는 아웃리거와는 달리 사재로 인한 내부 동선의 장애가 발생하지 않는 장점이 있다. 그러나 아웃리거가 부착된 코아의 Wide Column Action을 기대할 수 없으므로 리거의 효율이 감소한다. 그림 1은 2개의 가새골조와 2개 층에 파사드리거가 설치된 구조물로서 이해를 돕기 위해 바닥슬래브를 생략하였다. 그림 1에서 구조물 양단에 위치하는 파사드리거가 설치된 골조는 수평력에 저항할 수 없는 편집합된 부재들로 구성되므로 파사드리거에 연결된 모든 기둥들이 구조물의 수평변위 제어에 참여하게 된다. 파사드리거의 회전은 파사드골조의 기둥들에 의해 구속되며, 기둥의 축변형으로 인해 파사드리거는 이중곡률의 형태로 변형된다. 수평하중이 구조물에 작용하는 경우 파사드리거와 외부기둥들은 가새골조의 회전변형을 억제하며, 이때의 수평변위 감소량은 가새골조와 파사드리거의 전단강성과 휩강성, 외부기둥의 축강성 등의 영향을 받게 된다. 그림 1과 같은 대칭 구조물의 경우 그림 2와 같은 2차원 모델로 구조요소의 절반만을 고려하여 해석할 수 있다. 가새골조와 파사드골조 사이의 수평방향 점선은 두 골조에서 동일한 횡방향 변위를 발생시키는 강막작용(Rigid Floor Diaphragm)을 나타낸다.

파사드리거의 거동과 장점에 대해서는 Stafford Smi-

th(1996)에 의해 처음 연구되었다. 그는 이 연구에서 리거의 현재에 인접한 슬래브가 파사드리거와 전단벽 사이의 전단력을 전달하며 전단벽과 파사드리거를 지지하는 기둥 사이의 상호작용을 일으킨다고 주장하였다. 이와 같은 구조물에 대한 단순화된 해석방법이 Hoenderkamp와 Snijder (2000)에 의해 제시되었으며, 이것은 Stafford Smith와 Salim (1981), 그리고 Stafford Smith와 Coul(1991)에 의해 연구된 아웃리거구조물에 대한 해석이론을 토대로 하고있다.

본 연구에서는 여러개의 층에 걸쳐 파사드리거가 설치되고 내부에 철골 가새골조가 있는 구조물의 근사해석방법을 제시하였으며, 예비설계단계에서 실제구조물의 거동과 파사드리거의 최적위치 등을 보다 신속하게 추정할 수 있도록 하였다. 파사드리거를 갖는 구조물의 이론해석을 위해 리거를 단부의 골조와 같은 폭을 갖는 1개층 높이의 수평트러스로 가정하였고, 동일한 층에 위치하는 모든 기둥에서 동일한 수평변위가 발생하도록 슬래브의 면내강성이 무한하며, 리거가 오직 기둥에 부착되어 있어 리거의 휩변형이 이중곡률의 형태를 갖는다고 가정하였다.

본 연구에서는 파사드리거 대각선부재의 축변형에 의한 수평전단변형이 고려되었으며, 또한 철골 가새골조의 경우 기존연구(Hoenderkamp 등, 2000; Stafford Smith 등, 1991, 1996, 1981)의 콘크리트전단벽과는 달리 휩변형 외에도 대각선 가새의 축변형에 의한 전단변형이 발생하므로 전단변형에 의한 수평변위를 해석에서 고려하였다. 또한 기존연구(HoenderKamp 등, 2003)의 경우 등분포하중이 작용하고 1개의 파사드리거를 갖는 구조물의 근사해석방법을 제안하였으나 본 연구에서는 이를 발전시켜 등분포하중을 포함한 삼각분포 하중과 집중하중을 모두 고려하였으며, 매트릭스해법을 사용하여 n 개의 파사드리거를 가지는 구조물의 근사해석 및 최적위치 추정을 위한 해법으로 확장하였다. 구조물 수평변위와 응력, 그리고 파사드리거의 최적위치 등에 대한 본 이론의 정확성을 입증하기 위해 1개와 2개의 파사드리거가 설치된 해석모델을 토대로 MIDAS프로그램에 의한 3차원 구조해석결과와 비교하였다.

2. 파사드리거를 갖는 구조물의 근사해석

복잡한 구조물의 예비설계를 위한 근사해석이론의 전개를 위해서는 해석모델을 간소화하기 위한 몇 가지 가정의 도입이 필요하다. 본 연구에서는 다음과 같은 가정을 도입한다.

- (1) 구조체는 중첩의 원리가 적용되는 선형탄성체이다.
- (2) 각 부재의 단면성질은 구조물의 전체 높이에서 일정하

- 며, 파사드리거의 경우도 전체 스패에 걸쳐 일정하다.
- (3) 모든 부재는 서로 핀접합되어 있으며, 오직 축력만 발생한다.
 - (4) 모든 바닥 슬래브는 무한한 면내강성을 가지며, 따라서 임의의 층에 위치한 모든 기둥의 수평변위는 동일하다.
 - (5) 파사드리거는 오직 골조의 기둥에만 부착되어 있으며, 기둥과 기둥 사이에서 2개 이상의 구간으로 구획되어 있다.

그림 2의 구조물은 등분포 수평하중 w 와 최대값이 q 인 삼각분포 수평하중, 그리고 집중하중 P 가 작용하며, 2개의 층에 파사드리거가 부착된 구조물로 바닥은 무한한 축강성을 가져 가새골조와 파사드골조의 변형형상을 동일하게 해주는 것으로 가정한 해석모델이다.

이 구조물의 응력과 변위에 대한 근사식을 유도하기 위해 파사드리거가 가새골조와 만나는 위치에서 가새골조의 회전변위가 파사드리거의 회전변위와 일치한다는 적합조건을 이용한다. 가새골조의 휨강성을 EI_t , 전단강성을 GA_t , 구조물의 전체높이를 H , 파사드리거의 층을 h , 구조물 상단에서 상부리거까지의 거리를 x_1 , 하부리거까지의 거리를 x_2 , 상부와 하부리거에 의한 구속모멘트를 각각 M_1 과 M_2 로 표시하고, $x = x_1$ 에서 가새골조의 회전각을 θ_{t1} , $x = x_2$ 에서 가새골조의 회전각을 θ_{t2} 라 하면, 그림 2의 가새골조의 구조거동은 가상일의 원리를 이용하여 다음과 같은 근사식으로 표현할 수 있다.

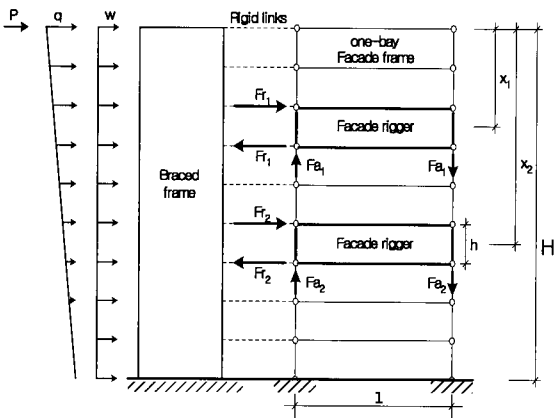


그림 2 단순화된 해석모델

$$\theta_{t1} = \frac{w(H^3 - x_1^3)}{6EI_t} + \frac{P(H^2 - x_1^2)}{2EI_t} + \left(\frac{q(H^3 - x_1^3)}{6EI_t} - \frac{q(H^4 - x_1^4)}{24HEI_t} \right) + \frac{wx_1}{GA_t} + \frac{P}{GA_t} + \frac{1}{GA_t} \left(qx_1 - \frac{qx_1^2}{2H} \right)$$

$$-\frac{M_1(H - x_1)}{EI_t} - \frac{M_2(H - x_2)}{EI_t} - \frac{M_1}{hGA_t} \quad (1)$$

$$\theta_{t2} = \frac{w(H^3 - x_2^3)}{6EI_t} + \frac{P(H^2 - x_2^2)}{2EI_t} + \left(\frac{q(H^3 - x_2^3)}{6EI_t} - \frac{q(H^4 - x_2^4)}{24HEI_t} \right) + \frac{wx_2}{GA_t} + \frac{P}{GA_t} + \frac{1}{GA_t} \left(qx_2 - \frac{qx_2^2}{2H} \right) - \frac{M_1(H - x_2)}{EI_t} - \frac{M_2(H - x_2)}{EI_t} - \frac{M_2}{hGA_t} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에서 처음 3개의 항은 가새골조의 수평하중에 의한 휨회전각, 다음 3개의 항은 전단회전각을 나타내며, 마지막 3개의 항은 상부와 하부의 파사드리거에 의해 발생하는 구속모멘트에 의한 휨회전각과 전단회전각을 나타낸다. 위 식에서 X형 가새골조의 휨강성과 전단강성은,

$$EI_t = \sum EA_i C_i^2 \quad (3)$$

$$GA_t = (2a^2 h / d^3) EA_d \quad (4)$$

이다. 여기서 A_t 는 가새골조 기둥의 단면적이고, C_i 는 기둥의 중립축과 가새골조의 중립축 사이의 거리이다. 전단강성에서 a 는 가새골조 수평부재의 길이이고 A_d 와 d 는 각각 가새의 단면적과 길이이다.

구속모멘트에 의한 파사드리거의 회전각은 파사드리거가 연결된 기둥의 축변형률에 의한 강제회전각, 파사드리거의 휨에 의한 회전각, 그리고 리거 경사재의 축변형에 의한 전단회전각으로 구성되며 $x = x_1$ 과 $x = x_2$ 에서 파사드리거의 회전각을 각각 θ_{r1} , θ_{r2} 라 하면 다음과 같다.

$$\theta_{r1} = \frac{M_1(H - x_1)}{EI_f} + \frac{M_2(H - x_2)}{EI_f} + \frac{M_1 \ell}{12EI_r} + \frac{M_1}{hGA_r} \quad (5)$$

$$\theta_{r2} = \frac{M_1(H - x_2)}{EI_f} + \frac{M_2(H - x_2)}{EI_f} + \frac{M_2 \ell}{12EI_r} + \frac{M_2}{hGA_r} \quad (6)$$

위 식에서 ℓ 은 파사드리거의 전체 길이를, EI_f 와 EI_r 은 각각 파사드골조와 리거의 휨강성을, GA_r 은 리거의 전단강성을 나타내며 리거의 휨강성(HoenderKamp 등, 2003)은

$$EI_r = \ell \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{EA_i h^2}{2b_i} \right) \times \left(1 + \frac{1}{j^2 - 1} \right) \right\} \quad (7)$$

로 구해진다. 여기서 n 은 베이의 수, j 는 각 베이당 가새 구간의 수를 나타내며, b_i 는 각 베이의 길이, A_i 는 리거 현재 단면적을 나타낸다.

X형 가새가 설치된 파사드리거의 전단강성은 가새골조의 전단강성과 같은 방법으로 구하며 각 가새의 전단강성의 합으로 표현된다.

$$GA_r = \sum_{i=1}^s GA_i \quad (8)$$

윗 식에서 s는 파사드리거의 전체 가새 구간의 개수이다. 파사드골조의 휨강성 EI_r는 가새골조의 휨강성 EI_t와 같은 방법으로 구할 수 있다.

x = x₁에서 가새골조의 회전각은 파사드리거의 회전각과 같은 값을 가진다. 따라서,

$$\theta_{t1} = \theta_{r1} \quad (9)$$

또한, x = x₂ 에서도,

$$\theta_{t2} = \theta_{r2} \quad (10)$$

가 성립하므로, 식 (1)과 식 (5)를 식 (9)에, 또한 식 (2)와 식 (6)을 식 (10)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 매트릭스 방정식을 얻을 수 있다.

$$[R]\{M\} = \{A\} \quad (11)$$

여기서, $[R] = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix}$, $\{M\} = \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{Bmatrix}$, $\{A\} = \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{Bmatrix}$ 이고, 각각의 성분은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{11} &= \frac{(H-x_1)S_v}{H} + S_h \\ R_{12} &= R_{21} = \frac{(H-x_2)S_v}{H} \\ R_{22} &= \frac{(H-x_2)S_v}{H} + S_h \\ A_1 &= \frac{w(H^3-x_1^3)}{6EI_t} + \frac{P(H^2-x_1^2)}{2EI_t} + \frac{q(H^3-x_1^3)}{6EI_t} - \frac{q(H^4-x_1^4)}{24HEI_t} \\ &\quad + \frac{wx_1}{GA_t} + \frac{P}{GA_t} + \frac{q}{GA_t} \left(x_1 - \frac{x_1^2}{2H} \right) \\ A_2 &= \frac{w(H^3-x_2^3)}{6EI_t} + \frac{P(H^2-x_2^2)}{2EI_t} + \frac{q(H^3-x_2^3)}{6EI_t} - \frac{q(H^4-x_2^4)}{24HEI_t} \\ &\quad + \frac{wx_2}{GA_t} + \frac{P}{GA_t} + \frac{q}{GA_t} \left(x_2 - \frac{x_2^2}{2H} \right) \end{aligned}$$

2×2 매트릭스인 [R]에 포함된 S_v와 S_h는 수식을 간단히 하기 위해 도입한 계수로서 다음과 같은 값을 가진다.

$$S_v = \frac{H}{EI_t} + \frac{H}{EI_r} \quad (12)$$

$$S_h = \frac{\ell}{12EI_r} + \frac{1}{hGA_t} + \frac{1}{hGA_r} \quad (13)$$

식 (11)로부터 파사드리거의 구속모멘트 {M}을 구하면 다음과 같다.

$$\{M\} = [R]^{-1}\{A\} \quad (14)$$

식 (14)에서 구한 구속모멘트를 이용하여 그림 2의 x = x₁과 x = x₂의 위치에서 가새골조의 구속력 F_{r1}과 F_{r2}, 외곽 기둥의 축방향력 F_{a1}과 F_{a2}를 구하면 다음과 같다.

$$M_1 = F_{r1} \times h = F_{a1} \times \ell \quad (15)$$

$$M_2 = F_{r2} \times h = F_{a2} \times \ell - M_1 \quad (16)$$

여기서, 2개의 파사드리거를 갖는 구조물의 수평변위는 가새골조에 발생하는 휨모멘트와 가상일의 원리를 이용하여 구할 수 있으며 구조물 최상단의 수평변위는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{wH^4}{8EI_t} + \frac{wH^2}{2GA_t} + \frac{PH^3}{3EI_t} + \frac{PH}{GA_t} + \frac{11qH^4}{120EI_t} + \frac{qH^2}{3GA_t} \\ &\quad - \frac{M_1(H^2-x_1^2)}{2EI_t} - \frac{M_2(H^2-x_2^2)}{2EI_t} - \frac{M_1}{GA_t} - \frac{M_2}{GA_t} \end{aligned} \quad (17)$$

위에서 유도된 방정식은 n개의 파사드리거를 가지는 구조물에서도 확장하여 적용할 수 있으며, 이 경우 식 (14)의 각 매트릭스의 성분들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \{M\} &= \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{Bmatrix}, \quad \{A\} = \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{Bmatrix} \\ A_i &= \frac{w(H^3-x_i^3)}{6EI_t} + \frac{P(H^2-x_i^2)}{2EI_t} + \frac{q(H^3-x_i^3)}{6EI_t} - \frac{q(H^4-x_i^4)}{24HEI_t} \\ &\quad + \frac{wx_i}{GA_t} + \frac{P}{GA_t} + \frac{q}{GA_t} \left(x_i - \frac{x_i^2}{2H} \right) \\ [R] &= \begin{bmatrix} \frac{(H-x_1)S_v}{H} + S_h & \frac{(H-x_2)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_1)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_n)S_v}{H} \\ \frac{(H-x_2)S_v}{H} & \frac{(H-x_2)S_v}{H} + S_h & \dots & \frac{(H-x_1)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_n)S_v}{H} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(H-x_1)S_v}{H} & \frac{(H-x_1)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_1)S_v}{H} + S_h & \dots & \frac{(H-x_n)S_v}{H} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(H-x_n)S_v}{H} & \frac{(H-x_n)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_n)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_n)S_v}{H} + S_h \end{bmatrix} \end{aligned}$$

또한, n개의 파사드리저를 갖는 구조물 최상단의 수평변위는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\Delta = \frac{wH^4}{8EI_t} + \frac{wH^2}{2GA_t} + \frac{PH^3}{3EI_t} + \frac{PH}{GA_t} + \frac{11qH^4}{120EI_t} + \frac{qH^2}{3GA_t} - \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{M_i}{2EI_t} (H^2 - x_i^2) \right\} - \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{GA_t} \quad (18)$$

구조물 최상단의 수평변위를 최소화할 수 있는 파사드리저의 위치는 위 식을 x_i 로 각각 미분하면 구할 수 있다.

$$\frac{d\Delta}{dx_i} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{dM_j}{dx_i} \left(\frac{H^2 - x_j^2}{2EI_t} + \frac{1}{GA_t} \right) \right] - M_i \left(\frac{x_i}{EI_t} \right) = 0 \quad (19)$$

위 식에서 i는 1부터 n까지의 값을 가지며, dM_j/dx_i 는 식 (14)에서 유도된 각 파사드리저의 구속모멘트를 x_i 로 각각 미분한 값을 나타낸다. 위와 같은 n개의 방정식을 연립하여 풀면, 각 파사드리저의 최적위치를 정의하는 x_i 의 값을 구할 수 있다.

3. 해석모델

본 연구에서 제시한 파사드리저구조물의 해석방법에 대한 신뢰성과 리저의 위치에 따른 구조물의 거동을 고찰하기 위해 1개와 2개의 파사드리저가 설치된 120m 높이의 구조물을 해석모델로 선정하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 해석모델은 30층 높이의 구조물로서 4개의 가새골조와 파사

드리저가 있는 2개의 외곽 골조로 이루어져 있다. 파사드리저의 층은 4m이고, 한 베이당 3개의 구간으로 구획되어 있으며, 가새골조와 파사드리저의 가새형태는 X형이다.

이 구조물에 작용하는 하중은 등분포하중과 삼각분포하중, 그리고 구조물 상단에 작용하는 집중하중으로서, 등분포하중의 크기는 150kgf/m², 삼각분포하중은 최상단에서 250kgf/m², 집중하중은 225tf이다. 모든 강재의 탄성계수 E는 2.1×10⁷tf/m², 가새골조 기둥의 단면적은 0.15m², 파사드리저가 위치한 외곽골조의 보와 기둥의 단면적은 각각 0.04m², 0.06m²이며, 가새골조와 파사드리저에 설치된 X형 가새의 단면적은 각각 0.03m², 0.013m²이다. 본 연구에서는 앞에서 가정한 수평하중을 풍하중으로 가정하고 고정하중 500kgf/m²과 적재하중 300kgf/m²을 적용하여 하중조합(고정하중+적재하중, 고정하중+적재하중+풍하중)에 대한 탄성구조해석을 실시한 다음 각 부재의 단면을 결정하였다.

4. 응력과 변위에 대한 비교분석

그림 4~6은 등분포하중과 구조물 상단에서 최대가 되는 삼각분포하중, 그리고 구조물 상단에 집중하중이 작용하는 구조물의 높이에 따른 수평변위를 나타낸 것으로서 파사드리저가 없는 경우와 구조물 상단의 수평변위가 최소가 되도록 리저의 위치를 정하여 1개의 리저를 설치한 경우, 그리고 2개의 리저를 설치한 경우의 수평변위를 본 이론해석과

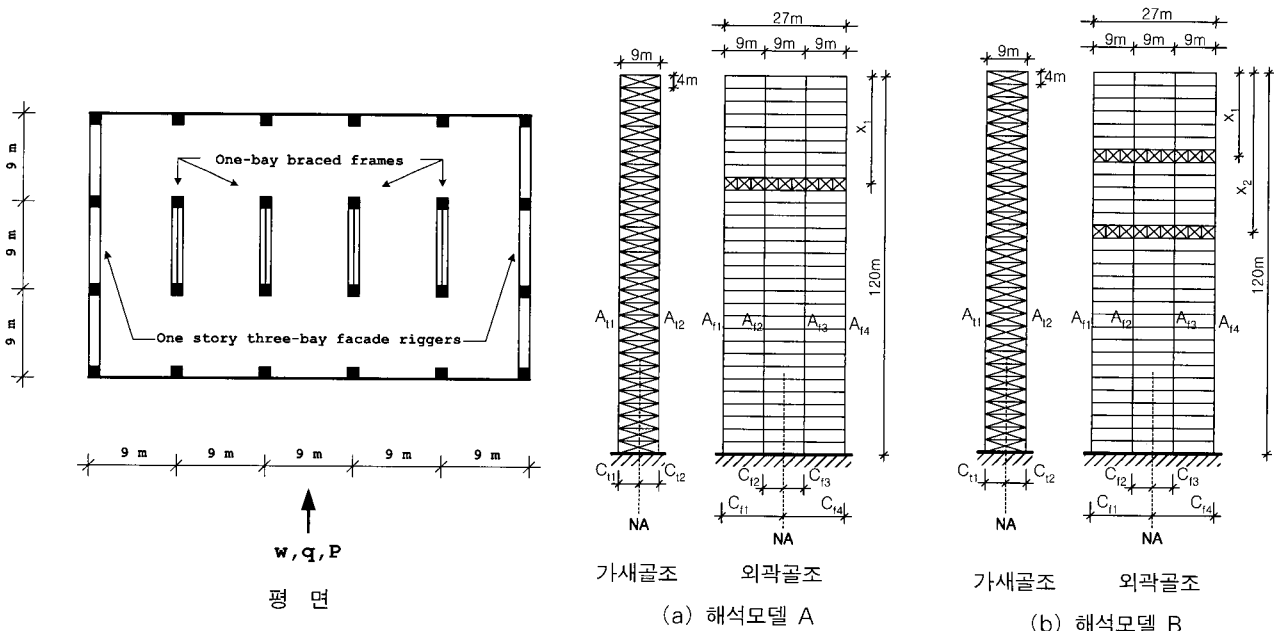


그림 3 해석모델

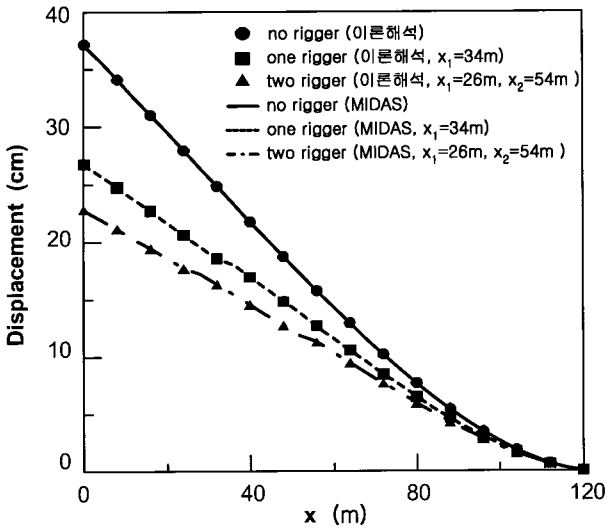


그림 4 높이에 따른 구조물의 수평변위 (등분포하중)

MIDAS-GEN 프로그램을 이용하여 구한 다음 그래프 형태로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 이론해석에 의한 구조물 수평변위는 MIDAS프로그램에 의한 결과와 0.4%이내의 아주 작은 오차를 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 파사드리저의 개수가 증가함에 따라 구조물 상단의 수평변위는 크게 감소하였으며, 리저가 설치되지 않은 가새골조에 비해 1개와 2개의 리저가 설치된 구조물은 등분포하중의 경우 구조물의 최상단에서 27.0%와 38.6%의 수평변위 감소를 보였고, 삼각분포와 집중하중의 경우에서도 각각 28.8%, 39.9%와 31.3%, 41.0%의 감소를 보여 파사드리저의 효용성이 입증되었다.

그림 7~9는 각 하중별 리저의 개수에 따른 층간변위를 나타낸 것으로서 파사드리저가 설치되지 않은 가새골조와 1

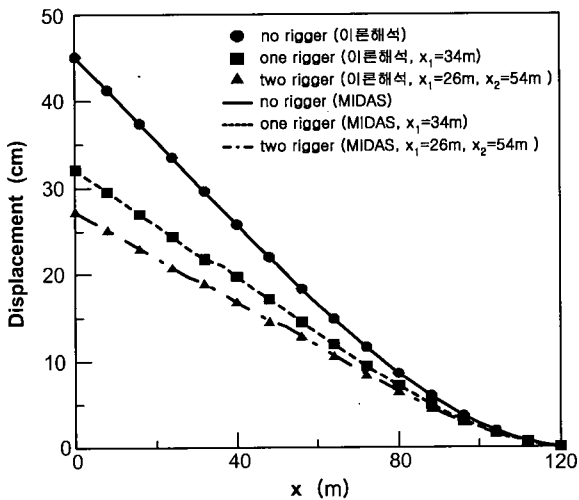


그림 5 높이에 따른 구조물의 수평 변위 (삼각분포하중)

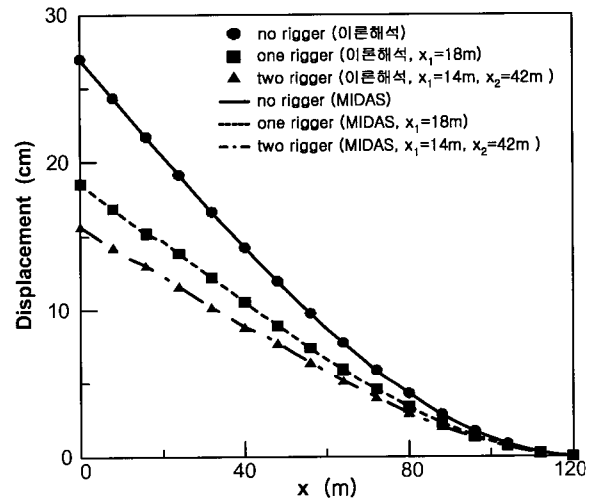


그림 6 높이에 따른 구조물의 수평 변위 (집중하중)

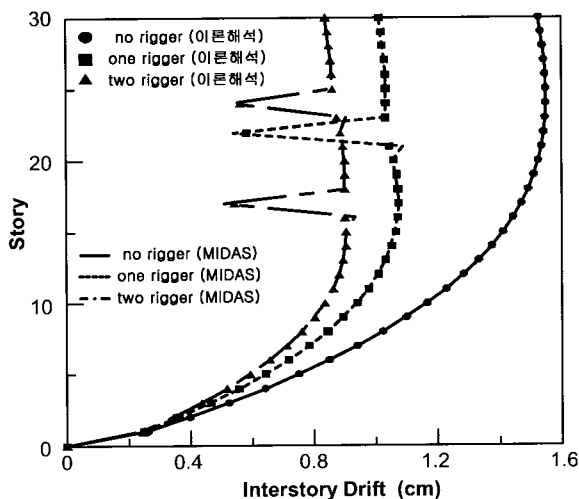


그림 7 구조물의 층간 변위 (등분포하중)

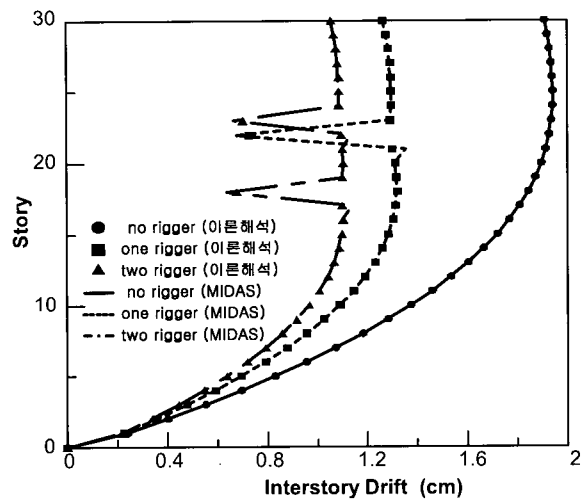


그림 8 구조물의 층간 변위 (삼각분포하중)

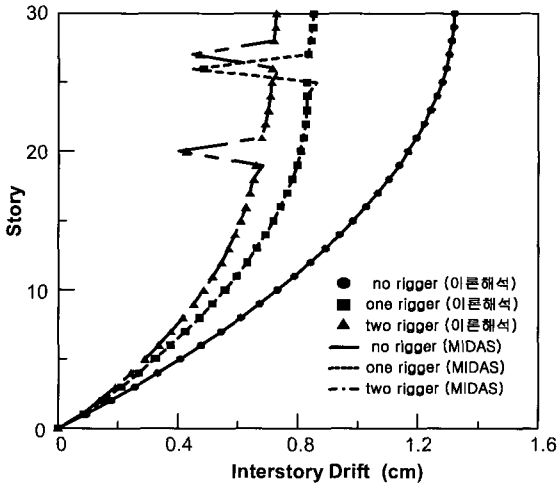


그림 9 구조물의 층간 변위 (집중하중)

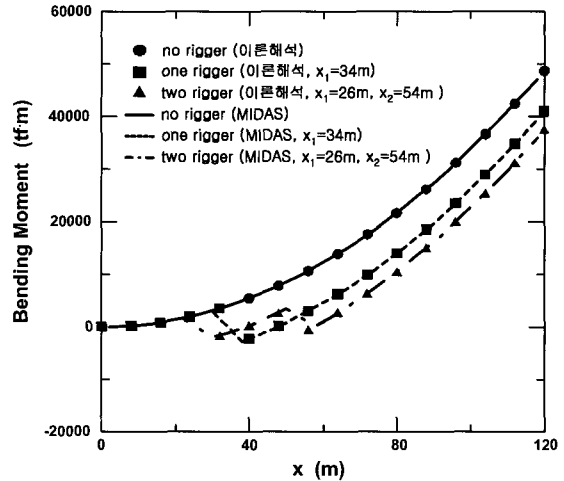


그림 10 높이에 따른 가새골조의 휨모멘트 (등분포하중)

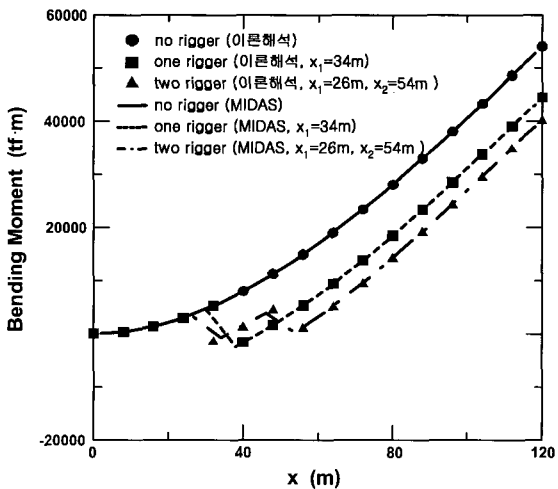


그림 11 높이에 따른 가새골조의 휨모멘트 (삼각분포하중)

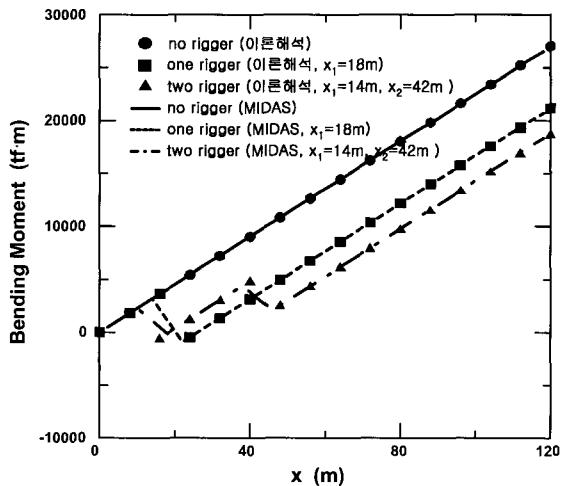


그림 12 높이에 따른 가새골조의 휨모멘트 (집중하중)

개의 리저 및 2개의 리저가 외곽골조에 설치된 경우를 대상으로 본 이론해석과 MIDAS프로그램에 의해 산정된 층간변위를 각 층별로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 리저가 설치되지 않은 가새골조의 단독거동에 비해 리저가 설치된 구조물은 리저가 위치한 층에서 급격하게 층간변위가 감소하였으며 리저의 구속에 의한 층간변위의 감소가 모든 층에서 확인되었다. 등분포하중이 작용하는 경우 1개 및 2개의 리저가 최적위치에 설치된 구조물의 최대 층간변위가 리저가 없는 경우에 비해 30.7%와 41.6%정도 감소하였으며 삼각분포하중과 집중하중의 경우에서도 32.1%, 43.5%와 35.5%, 44.9%가 감소하였고, 본 이론해석의 결과는 3차원 구조해석프로그램에 의한 값과 모든 층에서 비교적 유사하게 나타났다.

그림 10~12는 각각의 하중이 작용하는 경우에 대하여 구조물의 높이에 따라 발생하는 가새골조의 휨모멘트를 표시한 것으로서 파사드리저가 없는 경우와 구조물 상단의 수

평변위가 최소가 되는 위치에 1개의 리저를 설치한 경우 및 2개를 설치한 구조물을 대상으로 본 이론해석과 MIDAS 프로그램에 의해 계산된 가새골조의 휨모멘트를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 이론해석에 의한 가새골조의 휨모멘트는 MIDAS프로그램에 의한 결과와 전체 높이에 걸쳐 유사한 결과를 보였으며 하중의 형태에 관계없이 구조물의 하단에서 0.1%이내의 오차를 보여 초기 설계 단계에서 실제 구조물의 응력과 변위의 추정을 위한 사용 가능성을 보여주었다.

표 1 구조물 상단의 수평변위 단위: cm

리저개수	1개		2개	
	파사드리저	아웃리저	파사드리저	아웃리저
등분포	26.7	22.2	22.8	17.9
삼각분포	32.1	26.5	27.3	21.2
집중	18.5	15.1	15.7	12.0

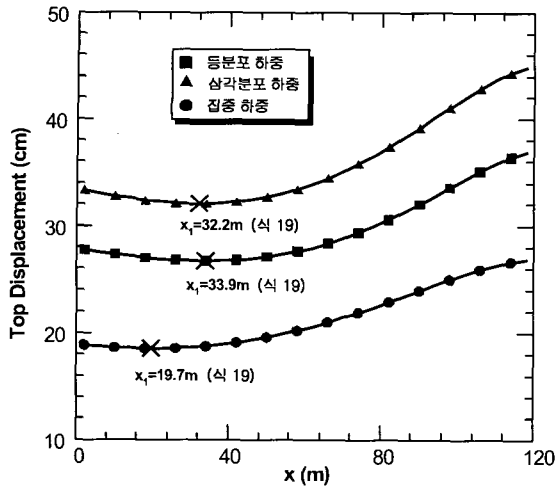


그림 13 리거의 위치에 따른 구조물상단의 수평변위 (해석모델 A)

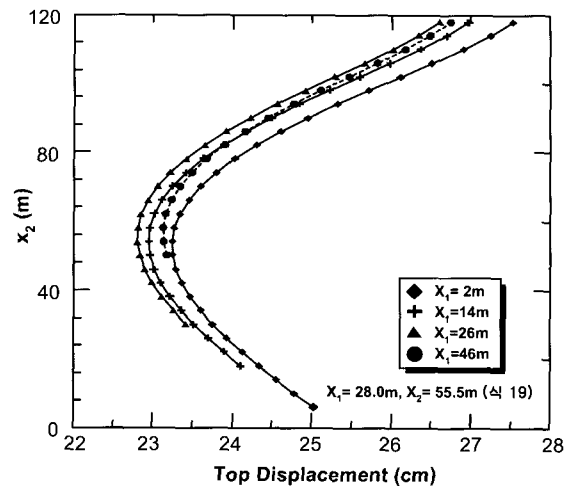


그림 14 리거의 위치에 따른 구조물 상단의 수평변위 (해석모델 B. 등분포하중)

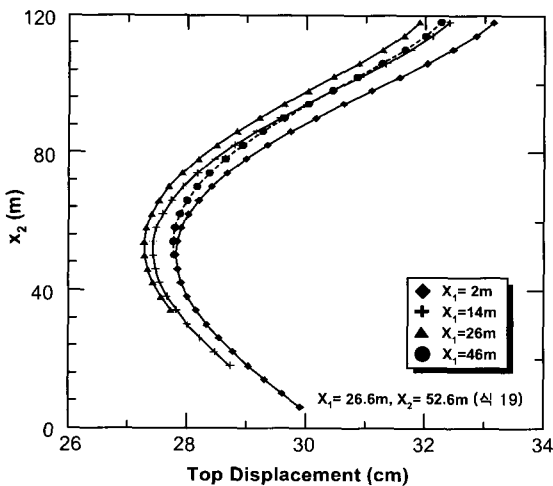


그림 15 리거의 위치에 따른 구조물 상단의 수평변위 (해석모델 B. 삼각분포하중)

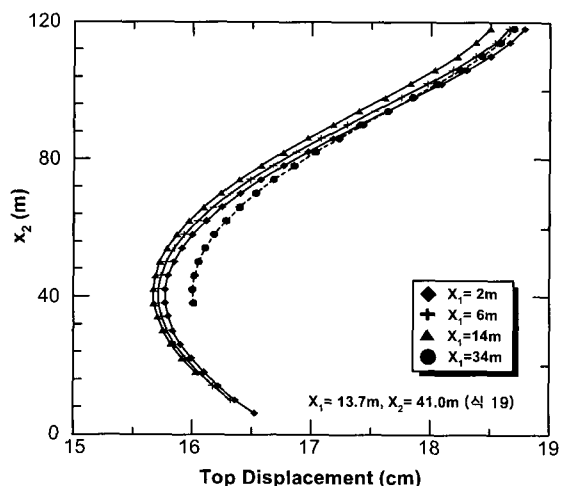


그림 16 리거의 위치에 따른 구조물 상단의 수평변위 (해석모델 B. 집중하중)

가새골조에서 발생하는 휨모멘트는 수평하중에 의한 휨모멘트에서 리거의 구속에 의한 휨모멘트를 제거하면 구할 수 있으며, 리거가 위치하는 지점에서 큰 폭의 감소를 보여 구조물의 하단까지 영향을 받게 된다. 파사드리거의 개수가 증가함에 따라 가새골조 하단의 전도모멘트도 감소하였으며 리거가 설치되지 않은 경우에 비해 1개와 2개의 리거가 설치된 구조물은 등분포하중의 경우 각각 15.7%와 22.9%의 감소를 보였고 삼각분포하중과 집중하중의 경우에서도 각각 17.7%, 25.6%와 21.7%, 30.5% 정도 감소하였다.

표 1은 파사드리거와 동일한 위치에 아웃리저를 위치시킨 다음 파사드리거가 설치된 구조물과 아웃리저가 설치된 구조물의 최상단 변위를 비교한 것이다. 아웃리저의 경우 내부 동선의 장애가 발생하는 단점이 있으나 아웃리저가 부착된 코어가 가지는 Wide Column Action을 기대할 수 있으므로 표 1에서 보는 바와 같이 리거의 개수가 1개인 경우와 2

개인 경우 각각 17.6%, 22.5%정도 변위가 감소하였다.

5. 파사드리거의 최적위치

그림 13은 1개의 파사드리거를 갖는 해석모델 A에서 리거의 위치에 따른 구조물 상단의 수평변위를, 그림 14~16은 2개의 파사드리거를 갖는 해석모델 B에서 상부와 하부 리거의 위치변화에 따른 구조물 상단의 수평변위를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 MIDAS-GEN과 같은 3차원 구조해석프로그램을 이용하여 구조물 상단의 수평변위가 최소화되는 리거의 위치를 추적할 수 있으나 반복 작업을 위해 많은 노력과 시간이 소요된다. 그러나 본 연구에서 제시된 식 (19)를 이용할 경우 한 번의 계산으로 신속하게 리거의 최적위치를 구할 수 있다.

그림 13은 등분포하중과 삼각분포하중, 그리고 집중하중

표 2 강성 변화에 따른 구조물의 최적위치 및 최상단 변위

해석모델	최적위치 상단변위	(a) Flexible			(b) $GA_f = \infty$			(c) $GA_f = \infty$			(d) $GA_f = \infty, GA_r = \infty$		
		등분포	삼각분포	집중	등분포	삼각분포	집중	등분포	삼각분포	집중	등분포	삼각분포	집중
A	x_1 (m)	33.9	32.2	19.7	38.2	36.3	26.5	38.8	36.7	23.8	50.5	47.8	36.7
	Δ (cm)	26.7	32.1	18.5	20.7	25.1	14.7	24.5	29.3	16.9	15.7	19.1	11.3
B	x_1 (m)	28.0	26.6	13.7	28.0	26.3	17.0	31.3	29.4	15.9	35.2	32.8	22.1
	x_2 (m)	55.5	52.6	41.0	61.9	59.5	50.9	62.0	58.9	47.7	76.7	74.1	66.4
	Δ (cm)	22.8	27.3	15.7	17.5	21.2	12.5	20.6	24.6	14.1	13.6	16.5	9.8

이 작용하는 경우 리거의 위치를 구조물 상단에서 하단으로 이동시켜 가면서 리거의 위치변화에 따른 구조물 상단의 수평변위를 그래프로 표시한 것으로서 구조물 상단의 수평변위를 최소화할 수 있는 리거의 위치가 구조물의 상단과 하단 사이에 존재함을 알 수 있다. 식(19)에서 구해진 등분포와 삼각분포 및 집중하중이 작용하는 경우의 최적위치는 구조물 상단에서 각각 33.9m, 32.2m, 19.7m 만큼 떨어진 지점으로서 그림 13의 그래프와 잘 일치함을 알 수 있다.

그림 14~16은 2개의 리거가 설치된 경우로서 각각의 하중에 대하여 상부 리거와 하부 리거의 위치를 구조물의 상단에서 하단으로 이동시켜 가면서 구조물 상단의 수평변위를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 2개의 리거를 갖는 구조물의 최적위치를 3차원 구조해석프로그램을 이용하여 구할 경우 수많은 반복 작업이 요구되며, 정확성도 매우 부족하게 된다. 식 (19)에서 구해진 등분포와 삼각분포, 그리고 집중하중이 작용하는 경우의 최적위치는 각각 $x_1 = 28.0\text{m}$, $x_2 = 55.5\text{m}$ 와 $x_1 = 26.6\text{m}$, $x_2 = 52.6\text{m}$ 그리고 $x_1 = 13.7\text{m}$, $x_2 = 41.0\text{m}$ 로서 그림 14~16에 표시된 그래프의 결과와 비교적 잘 일치하고 있다.

표 2는 해석모델 A와 B에서 가새골조와 파사드리거의 전단강성에 따른 구조물 상단에서의 수평변위와 파사드리거의 최적위치를 각 하중별로 나타낸 것이다. (a)는 모든 부재가 앞에서 언급된 일정한 값을 갖는 경우에 대한 것이며 (b)는 가새골조의 전단강성을, (c)는 파사드리거의 전단강성을, 그리고 (d)는 가새골조와 리거의 전단강성 모두를 무한한 값으로 가정하여 해석한 결과이다. 표 2에서 보는 바와 같이 가새골조와 파사드리거의 전단강성을 무한한 값으로 가정할 경우 구조물 상단의 수평변위가 크게 감소하게 되며, 파사드리거의 최적위치에도 상당한 오차가 발생하게 됨을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 여러개의 파사드리거를 갖는 철골 가새골

조의 거동을 구하기 위한 매트릭스 해석방법을 제안하였으며, 등분포와 삼각분포, 그리고 구조물 상부에 집중하중이 작용하는 경우에 대한 응력과 변위식들을 유도하였다. 또한 구조물의 수평변위와 층간변위, 그리고 가새골조의 휨모멘트와 구조물 상단의 수평변위를 최소화할 수 있는 파사드리거의 최적위치 등에 대한 본 이론해석의 신뢰성을 입증하기 위해 구조물의 외곽에 파사드리거가 설치된 해석모델들을 토대로 MIDAS프로그램에 의한 3차원 구조해석결과와 비교하였고 리거의 위치와 리거 개수의 변화에 따른 구조물의 거동을 고찰하였으며, 이 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 해석모델들을 토대로 본 이론해석에 의한 변위와 응력을 3차원 구조해석 프로그램에 의한 값과 비교한 결과, 파사드리거의 위치와 개수 및 하중의 형태에 관계없이 유사한 결과를 보였다.
- (2) 구조물 상단의 수평변위를 최소화할 수 있는 리거의 최적위치를 구하기 위해 3차원 구조해석 프로그램을 사용할 경우 반복 작업에 따른 많은 노력과 시간이 소요되나, 본 해석방법을 사용하면 신속하게 리거의 최적위치를 추정할 수 있다.
- (3) 구조물의 외곽에 파사드리거를 갖는 가새골조의 거동은 가새골조와 리거의 휨강성 이외도 전단강성에 대한 고려가 필요하다.
- (4) 파사드리거가 위치하는 지점에서 층간변위와 가새골조의 휨모멘트가 큰 폭으로 감소함에 따라 구조물의 모든 층에서 수평변위와 응력이 감소하였다. 본 연구에서 제시한 매트릭스 해석방법은 구조물 상단의 수평변위와 가새골조 하단의 전도모멘트 같은 구조물의 거동에 대한 파사드리거의 영향을 신속하게 평가할 수 있다.

참 고 문 헌

김지영, 김명한, 김상대(1996) Outrigger 시스템의 구조

- 적거동 및 효율성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 16(1), pp.353~358
- 송화철(1999) 엇갈림 오프셋 아웃리저 超高層 構造 시스템의 效率性, 대한건축학회논문집 구조계, 15(11), pp.19~26.
- Hoenderkamp, J.C.D., Snijder, H.H.**(2000) Simplified analysis of facade braced high-rise structures, *Struct. Des. Tall Build.*, 9(3), pp. 309~319
- Hoenderkamp, J.C.D., Snijder, H.H.**(2003) Prdliminary analysis of High-rise braced frames with facade rigger, *American Society of civi Engineers*, pp.640~647.
- Stafford Smith, B., Coull, A.**(1991) *Tall building structure: Analysis and design*, Wiley, New York
- Stafford Smith, B., Cruvellier, M., Noller, M.J., Mahayari, A.T.**(1996) Offset outrigger concept for tall building structures, *Proc., 67th Regional conf. on Tall Buildings-a World View*, Council on tall Buildings and Urban Habitat, Lehigh Univ., Bethlehem, pp.73~80
- Stafford Smith, B., Salim, L.**(1981) Parameter study of outrigger braced tall building structures, *J. Struc. Eng.*, 107(10), pp.2001~2014